

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Vliv velikosti zaoblení řezné hrany na trvanlivost VBD při frézování

Influence of Cutting Edges Rounding Size for Durability Inserts in Milling

Student:

Miroslav Jáně

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Jáně**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Téma: **Vliv velikosti zaoblení řezné hrany na trvanlivost VBD při frézování**
Influence of Cutting Edges Rounding Size for Durability Inserts in Milling

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Frézování ocelí.
3. Vliv zaoblení řezné hrany na výsledné parametry obrábění.
4. Diskuze experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje: I. díl, Řezné nástroje*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2006. ISBN 80-7078-941-7.
- [3] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013


Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry

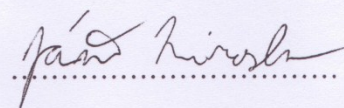



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

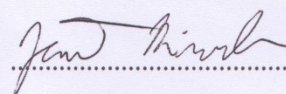
A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Jáně Miroslav', written over a horizontal dotted line.

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20.5.2013



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Miroslav Jáně

Adresa trvalého pobytu autora práce: Hněvkov 25, Zábřeh

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

JÁNĚ, M. *Vliv velikosti zaoblení řezné hrany na trvanlivost VBD při frézování: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 51 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce se zabývá zaoblením řezné hrany VBD v závislosti na její trvanlivosti při frézování. Zkoumám zaoblení řezné hrany u destičky LNGX 120508ER-M společnosti Pramet Tools s.r.o. V úvodu jsou rozepsány aspekty, které ovlivňují trvanlivost nástroje u frézování. Měřím velikost zaoblení řezné hrany, abych zjistil velikost před obráběním. Pokračuji frézováním při zaobleních řezné hrany přibližně 30, 50, 70 μm . Obrábím materiál 12 050.9 a hodnotím trvanlivost VBD a kvalitu povrchu obrobeného materiálu. Na základě dat ze zkoušek volím optimální zaoblení řezné hrany v závislosti na trvanlivosti a kvalitě povrchu.

Klíčová slova: VBD, trvanlivost, drsnost, zaoblení

ANNOTATION OF MASTER THESIS

JÁNĚ, M. *Influence of Cutting Edges Rounding Size for Durability Inserts in Milling: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB- Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2013, 51 p. Thesis head: Vrba, V.

This thesis deals with rounding of the cutting edge inserts depending on its durability during milling. I explore the cutting edge rounding at the inserts LNGX 120508ER-M produced by the Pramet Tools Company Ltd. In the introduction, there are described aspects that affect the tool life in milling. I measure the size of the cutting edge radius, to find the size before cutting. I continue milling the cutting edge fillets at approximately 30, 50, 70 microns. The material 12 050.9 is machined and I evaluate the durability of the indexable cutting inserts and the surface quality of the machined material. Based on these information I choose the optimum rounding of the cutting edge, depending on the durability and quality of the surface.

Keywords: Indexable cutting inserts, durability, roughness, rounding

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod	9
1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU	10
1.1 Vývoj SK karbidů	10
1.2 Představení firmy	12
1.3 Řezné síly při frézování	12
1.4 Výroba zaoblení	14
1.4.1 Suché pískování	14
1.4.2 Mokrý pískování	15
1.4.3 Kartáčování	15
1.4.4 Leštění	16
1.5 Opotřebení nástroje při frézování	16
1.5.1 Tvorba nárůstku, opotřebení hřbetu a plastická deformace špičky	17
1.5.2 Výmol na čele a oxidační rýha	19
1.5.3 Vrubové opotřebení na hlavním břitu a hřebenové trhliny	20
1.5.4 Křehké porušování řezné hrany a porušování řezné hrany	21
1. 5. 5 Únavové trhliny kolem hřbetu a destrukce břitu	22
1.6 Trvanlivost nástroje	23
2 FRÉZOVÁNÍ OCELÍ	24
2.1 VBD LNGX 120508ER-M	24
2.2 Stroj, nástroj a řezné podmínky	25
2.3 Ocel 12 050.9	27
2.4 Drsnost povrchu při zaoblení 30 μm	28
2.5 Drsnost povrchu při zaoblení 50 μm	29
2.6 Drsnost povrchu při zaoblení 70 μm	30
3 VLIV ZAOBLNÍ ŘEZNÉ HRANY NA VÝSLEDNÉ PARAMETRY OBRÁBĚNÍ	31
3.1 Stroje	31
3.2 Měření zaoblení	32
3.3 Opotřebení	35
3.3.1 Opotřebení při zaoblení 30 μm	35
3.3.2 Opotřebení při zaoblení 50 μm	37
3.3.3 Opotřebení při zaoblení 70 μm	40

Bakalářská práce	Miroslav Jáně
4 DISKUZE EXPERIMENTŮ	42
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	43
Závěr	44
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	46
PŘÍLOHY	48

Seznam použitých značek a symbolů

značka/symbol	Jednotka	Popis
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
MT-CVD	[-]	Středně teplotní chemicky nanášený povlak
F	[N]	Síla
T	[min]	Trvanlivost
Ra	[μm]	Střední aritmetická úchylka profilu
ct	[-]	Konstanta
vc	m.min-1	Řezná rychlost
m	[-]	Exponent (míra závislosti řezné rychlosti na trvanlivosti)
n	[ot/min]	Otáčky
fot	[mm/ot]	Posuv na otáčku
fzub	[mm/zub]	Posuv na zub
fmin	[mm/min]	Posuv za minutu
ap	[mm]	Hloubka řezu
ae	[mm]	Šířka frézované plochy
t	[mm]	Stoupání závitu

Úvod

Slinuté karbidy se používají ve formě VBD. Vývoj slinutých karbidů se neustále rozrůstá. Výzkumná oddělení firem se snaží vyvíjet VBD s co nejdelší trvanlivostí. Může za to neustále zvyšující se poptávka zákazníků po takových nástrojích. Výzkumníci v tomto ohledu za posledních 20 let udělali velký krok vpřed.

V dnešní době se VBD využívají především pro číslicově řízené stroje. Kombinace těchto dvou částí nám zajistí maximální efektivitu při obrábění. Slinuté karbidy nemají nějaký zásadní vliv na cenu obrobku.

Vývoj slinutých karbidů se zaměřuje především na velikost zrn prášků. Proto, abychom měli co nejlepší prášek, musí být zrna co nejjemnější. Jestliže bude vývoj VBD pokračovat v takovém tempu jako do teď budeme schopni vyrábět nástroje s velmi malým opotřebením.

1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU

1.1 Vývoj SK karbidů

Záznamy o tom, že existovaly materiály tvrdší, než kalená ocel pocházejí z dávných dob. Mezi takové materiály patřili korund a diamant. Tyto materiály sice mohli být využívány pro broušení kovů už v 19 a 20 století. Avšak kvůli své malé houževnatosti nemohli být využívány na obrábění kovů.

Velký krok vpřed byl zaznamenán v roce 1897, kdy se pomocí elektrické pece zvýšila teplota jejich výroby. V laboratoři Henriho Moissona byl v roce 1896 objeven karbid wolframu W_2C . O dva roky později objevil P. Williams karbid WC. Oba tyto karbidy měly teplotu tavení kolem 2800 °C. Velká skupina vědců a inženýrů se pokoušela pomocí elektrické pece vytvořit umělý diamant. Kvůli znalostem tehdejší doby se jim to nepovedlo, ale při těchto pokusech našli spoustu nových karbidů. Mezi nimi byl i karbid wolframu, který měl vysokou tvrdost a vlastnostmi se podobal kovům. V té době o tyto materiály nebyl takový zájem.

Poprvé se karbid wolframu využil na drátové průvlaky. Tyto průvlaky byly vyrobeny v roce 1914 z prášků karbidů. Prášky byly lisovány a následně slinovány na teplotě nižší než je teplota tavení čistého WC. Na počátku minulého století se používali rychlořezné oceli s příměsí tvrdých karbidických částic v kovové matici. Dalším vývojem, který následoval, byla výroba řezných nástrojů z čistého karbidu wolframu. Tuto variantu se nakonec povedlo realizovat, avšak ukázalo se, že pro běžný provoz je zcela nepoužitelná, protože nástroje byli strašně křehké.

Na počátku 20. století se podařilo vyrobit žhavící vlákno z prášku wolframu. Díky tomuto objevu se začal rozvíjet obor práškové metalurgie. Tento pokus vznikl v USA ve firmě General Electric Co. K největším průkopníkům v práškové metalurgii patří Karl Schöter, který pracoval v německé firmě OSRAM. Ten v roce 1923 ohřál práškový wolfram smíchaný s uhlíkem a tím získal karbid o mikrometrické zrnitosti. Dále při vývoji zjistil, že pokud WC smíchá s malým množstvím kobaltu nebo niklu a ohřeje ho na teplotu 1300°C dostane výrobek s nízkou pórovitostí, velkou pevností a velmi vysokou tvrdostí. Hotový materiál je potom dokonale vytvrzený a zrna jsou velmi rovnoměrně rozptýlena.

V roce 1925 získal Schöter patent na slinutý karbid. I když z počátku se firma OSRAM zabývala drátovými průvlaky, tak položila základy pro slinuté karbidy. Díky těmto karbidům bylo možné obrábět při vysokých rychlostech. V roce 1926 rozvinula německá firma Krupp výrobu slinutých karbidů pod názvem WIDIA pod tímto názvem se prodávají i dnes. V roce 1927 byl publikován výrobek WIDIA N který měl složení 94 % WC a 6 % Co. Tento materiál pracoval v rychlostech 2 krát až 3 krát vyšších než bylo v dřívější době obvyklé. I proto se jedná o největší pokrok od začátku obrábění rychlořezných ocelí. Výzkumní pracovníci firmy Krupp zjistili, že velikost zrna ovlivňuje vlastnosti výsledného materiálu. Následovala výroba vzorků různých velikostí. Při zkouškách se přišlo na zajímavou věc, že čím je zrnitost menší tak tím víc se prodlužuje trvanlivost.

Nástroje ze slinutých karbidů typu WC-Co vyrobené na konci 20. let dosahovali výborných výsledků. Byli vhodné pro obrábění všech různých slitin až na jedinou a to ocel. Protože při rychlostech nad hranici rychlořezné oceli docházelo k výmolům a tím pádem se nám snižovala trvanlivost. Z toho důvodu se výzkumníci začali zaměřovat i na další materiály především TiC. Toto úsilí vyústilo k vynalezení prvního dvousložkového karbidu.

V letech 1939-1945 byl v Německu a Rakousku velmi rozšířen výzkum slinutých karbidů. I přesto, že se za války na materiálech jako jsou karbidy wolframu šetřilo. Avšak po válce v roce 1945 náhle poklesl zájem o tyto materiály. Výroba slinutých karbidů na celém světě vycházela z patentů Německa.

I když většina objevů pocházela z Německa tak zde nesmím zapomenout i na některé objevy v USA, Švédsku a jiných zemích. Vzhledem k výrobním patentům probíhal vývoj dvěma směry. První směr byla výroba pomocí wolframu a druhý směr byl čistě bez použití wolframu. Významná událost pro metalurgii byla výroba jemnozrnných materiálů. Nejvíce aktivity ve výrobě těchto materiálů bylo v letech 1980-1990. Nástupem výroby ultra jemných prášků na konci 90. let minulého století, začalo mnoho firem hledat způsoby výroby tříděných prášků. Mezi nejznámější způsoby patřil způsob reaktivním rozprašováním.

V dnešní době se používají slinuté karbidy na celém světě kromě Japonska, kde je nejrozšířenější obrábění pomocí řezné keramiky. V Evropě patří mezi největší výrobce firmy Seco, Sandvik Coromant a firma Pramet Tools.¹

1.2 Představení firmy

Firma Pramet Tools s. r. o. sídlící v Šumperku se zabývá produkty v oblasti řezných a tvářecích nástrojů. Historie firmy Pramet Tools sahá až do 30. let minulého století. V roce 1951 byla zahájena výroba dílů ze slinutých karbidů. Díky více než 60. leté tradici se podařilo firmě udržet si vedoucí postavení ve výrobě SK destiček v tuzemsku. A zároveň začít s budováním pozic v exportních zemích.

Rok 1999 je pro firmu klíčový. V tomto roce se firma spojí s finančně silným partnerem. Došlo k modernizaci výroby, rozšíření výzkumu a vývoje a k posílení servisu zákazníkům. Posílila se i logistika a poradenství. Rozšířili se firemní pobočky na 4 světové kontinenty do více než 50 zemí světa.

V dnešní době firma nabízí vyměnitelné břitové destičky pro soustružení, frézování, vrtání vyvrtávání a speciální operace. K těmto VBD nabízí i celou řadu nástrojů – obr. 1.1. Dále se firma zabývá speciálními nástroji pro frézování kolejnic a výhybek. Nástroje na frézování výhybek dodává firma všem předním výrobcům.⁴



Obr. 1.1 Nástroje vyráběné ve firmě Pramet Tools⁴

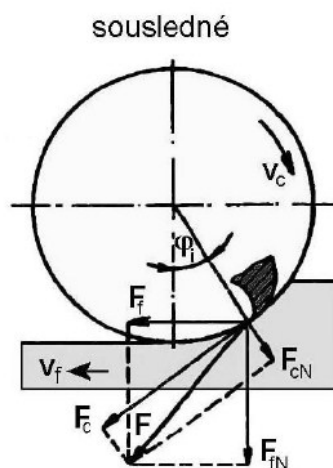
1.3 Řezné síly při frézování

Při vnikání řezného klínu do materiálu vzniká napjatost, která způsobuje v krajních případech dělení materiálu. Tento proces doprovází plastické i elastické deformace. Kromě deformací zde vznikají i silové poměry. Tyto silové poměry nám umožňují získat přehled o

mechanickém namáhání při obrábění. A tím získat podklady pro řešení soustavy z hlediska tuhosti, pevnosti a dynamické stability řezného procesu. Dále můžeme získat podklady na zajištění energetické účinnosti řezného procesu a posouzení jeho tepelných jevů. Nebo můžeme získat podklady pro hodnocení trvanlivosti tj. jeho životnost, ale také údaje o přesnosti. Nejvýznamnější veličinou je však řezná síla. Tato veličina je časově proměnná a lze ji definovat takto. Stav napjatosti v obráběném materiálu způsobuje odpor, který musíme překonat.^{5,6,2}

Řezná síla je dynamickým jevem. Při obrábění její velikost kolísá a to i při obrábění za konstantních řezných podmínek. Je to způsobeno především vlastnostmi obráběného materiálu a tvorbou třísky. Při frézování máme dvojí rozložení sil a to podle toho jak frézujeme, jestli sousledně nebo nesousledně.

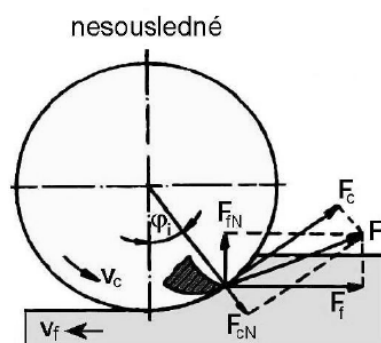
Frézování sousledné při této variantě frézujeme ve směru posuvu obrobku. Sousledné frézování bychom měli používat, vždy když můžeme. Při tomto způsobu obrábění se nám třísky postupně snižuje, až na nulovou hodnotu. To chrání břit před odíráním o obráběný materiál, před začátkem řezu. Je zde velká tříska a to nám pomáhá, protože potom řezné síly přitahují obrobek k fríze. Frézy mají větší živostnost. Kvalita povrchu je lepší než u nesousledného frézování. Na obr. 1.2 je vidět, že výsledná síla F působí do obrobku.^{3,5,6}



Obr. 1.2 Rozložení složek síly⁵

Frézování nesousledné zde frézujeme proti posuvu obrobku. Materiál se zde obrábí od minimální třísky po maximální. Tento způsob se moc nepoužívá, ale jsou případy, kdy se využít musí. Například když má fréza návyk vtahovat se do obrobku musí se zde eliminovat zpětné pohyby. Při vtahování nástroje do obrobku, se posuv zvyšuje a to může vést k ulomení břitu. Na obr. 1.3 je vidět že výsledná síla F působí ven z obrobku. Všechny

síly se dají měřit jak u nesousledného tak i u sousledného frézování. Toto měření realizuje pomocí přímého nebo nepřímého měření sil.^{3,5,6}



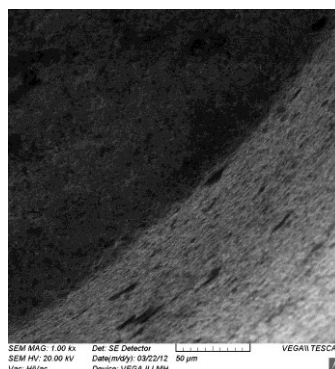
Obr. 1.3 Rozložení složek síly⁵

1.4 Výroba zaoblení

Zaoblení řezné hrany se dá vyrábět čtyřmi základními způsoby. Mezi tyto způsoby patří suché pískování, mokré pískování, kartáčování a leštění. Každý z těchto způsobů má výhodu v něčem jiném.⁷

1.4.1 Suché pískování

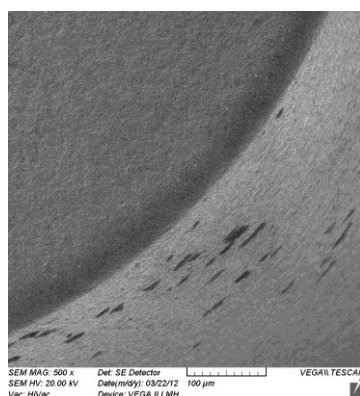
Suché pískování jedná se o pískování bez vody jen písek a vzduch. Je to nejagresivnější způsob rektifikace. Hrubost písku je zhruba 150 mash. Tento způsob se využívá spíše u malosériové výroby nebo u výroby po pár kusech destiček. Po této operaci není povrch zrovna hladký, vznikají na něm nerovnosti – obr. 1.4. I z tohoto důvodu se suché pískování moc nepoužívá. Princip je zde takový, že na destičku, která je uchycena v plastových držácích se začne vrhat písek se vzduchem.⁷



Obr. 1.4 Povrch destičky po suchém pískování⁷

1.4.2 Mokrý pískování

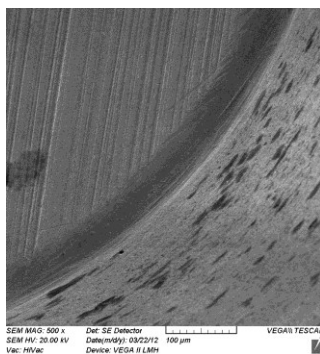
Mokrý pískování je pískování s vodou. To znamená, že zde máme kombinaci voda, vzduch a písek. Je jemnější než suché pískování. Hrubost písku je v rozmezí 180 – 220 mash. Nejpoužívanější způsob výroby zaoblení. Povrch destičky má velice dobrou jakost – obr. 1.5. Nevznikají tu nějaké výrazné nerovnosti povrchu. Princip výroby je zde obdobný jako u suchého pískování s jediným rozdílem, že zde máme navíc kapalinu. Písek u mokrého pískování při zvětšení vypadá jako střípky skla.⁷



Obr. 1.5 Povrch destičky po mokrému pískování⁷

1.4.3 Kartáčování

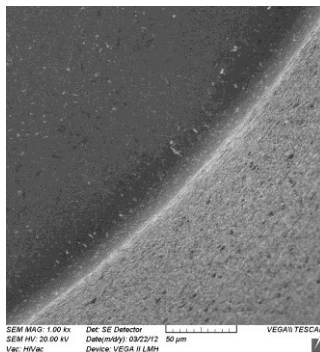
Kartáčování je způsob výroby, při kterém se chladí. Je to nejproduktivnější způsob rektifikace. Hrubost jednotlivých kartáčů se dá měnit od 80K po 120K. Po kartáčování je povrch destičky podobný povrchu po mokrému pískování – obr. 1.6. Jediným rozdílem je, že zde ještě zůstávají malé rýhy. Kartáčování probíhá tak, že máme destičky a nad nimi je velký kotouč (kartáč). Tento kartáč se otáčí a tím jak se otáčí a působí na destičku, se nám vytváří zaoblení.^{7,8}



Obr. 1.6 Povrch destičky po kartáčování⁷

1.4.4 Leštění

Posledním způsobem výroby je leštění. Leštění patří mezi nejdražší způsoby výroby. Moc se nepoužívá. Kvalita povrchu destičky je ze všech způsobů nejlepší – obr. 1.7. Nevznikají zde žádné vrypy ani škrábance. Povrch je na takových destičkách zcela vyhlazený.⁷



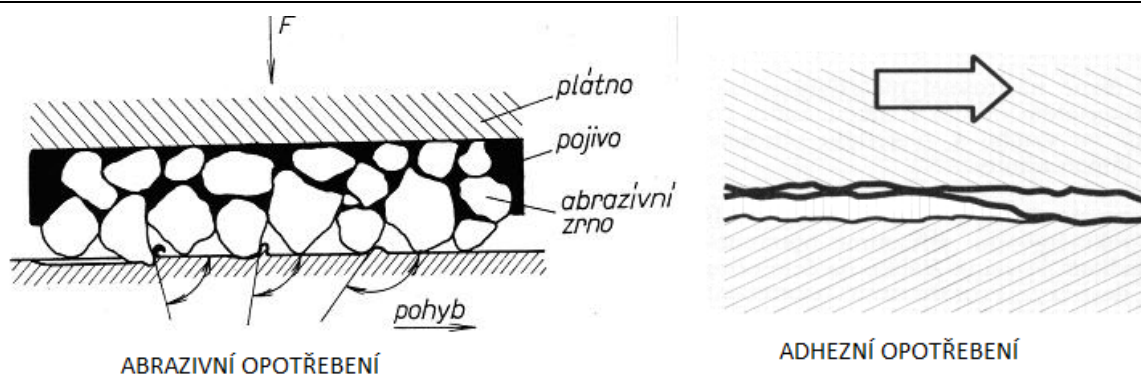
Obr. 1.7 Povrch destičky po leštění⁷

1.5 Opotřebení nástroje při frézování

Opotřebení nástroje je jev, který vzniká při obrábění, kdy se nástroj začne dotýkat obrobku. Při obrábění vzniká velké množství tepla. Právě toto teplo namáhá materiál břitů nástroje. Při frézování se vytváří dynamický faktor, kdy jeden břit z materiálu vystupuje a ihned do něj opět vstupuje. Velká část obráběných materiálů obsahuje tvrdé částice, které jsou tvrdé jako břit nástroje. Opotřebení je složitý děj, který závisí na mnoha faktorech. V průběhu opotřebení působí na nástroj mnoho mechanismů opotřebení. Mezi nejčastějšími mechanismy opotřebení patří adhezivní opotřebení, abrazivní, difuzní, oxidační, křehký lom a plastická deformace.^{9,16}

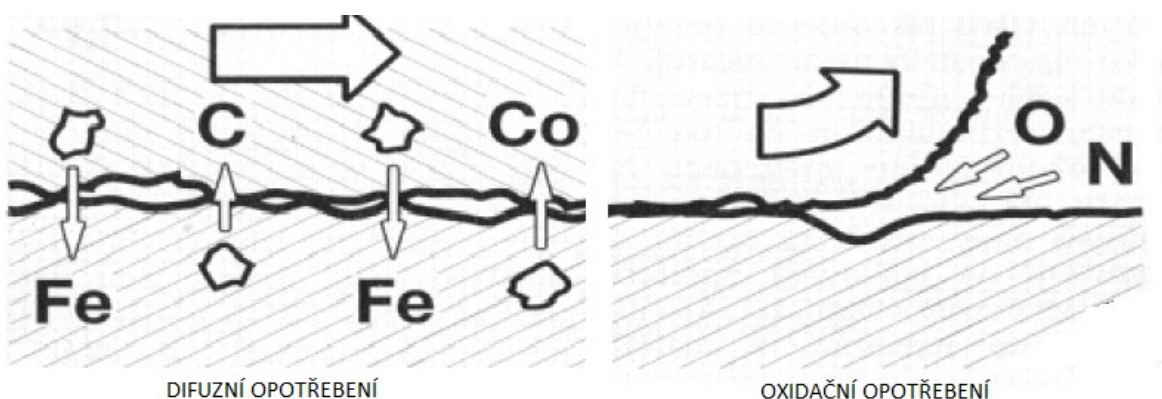
Abrazivní opotřebení – obr. 1.8 jedná se o brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu. Při obrábění patří mezi nejčastější způsoby otěru.

Adhezivní opotřebení vzniká při celkem malých řezných rychlostech, velkých teplotách a velkých tlacích. Je to v podstatě porušování mikro svarových spojů na vrcholcích čela a třísky.^{9,16}

Obr. 1.8 Abrazivní a adhezivní opotřebení ¹⁶

Difuzní opotřebení – obr. 1.9 je to typ opotřebení, při kterém nám migrují atomy nástroje a obrobku mezi sebou. Tvrdost materiálu nemá na toto opotřebení žádný vliv.

Oxidační opotřebení na povrchu vznikají chemické sloučeniny za působení kyslíku. Toto opotřebení souvisí s vysokými teplotami. Při frézování máme několik různých druhů opotřebení. Během jedné operace může vzniknout i více druhů opotřebení. ^{9,16}

Obr. 1. 9 Difuzní a oxidační opotřebení ¹⁶

1.5.1 Tvorba nárůstku, opotřebení hřbetu a plastická deformace špičky

Jedná se o adhezivní mechanismus opotřebení. Tvorba nárůstku je charakterizována jako nalepování materiálu na břit nástroje – obr. 1.10. Toto nalepování mění geometrii na negativní. Nárůstek vypadá jako návar na břit. Při pokusu odtrhávat nárůstek může dojít k porušení břitu. Nárůstek nám snižuje kvalitu obrobeného povrchu. Proto, abychom se vyhnuli tvorbě nárůstků, máme několik zásad. Můžeme zvýšit řeznou rychlost, zvýšit

posuv, používat povlaky na slinutých karbidech nebo použít řeznou kapalinu, která nám zabráni k tvoření nárustků.^{10,11}



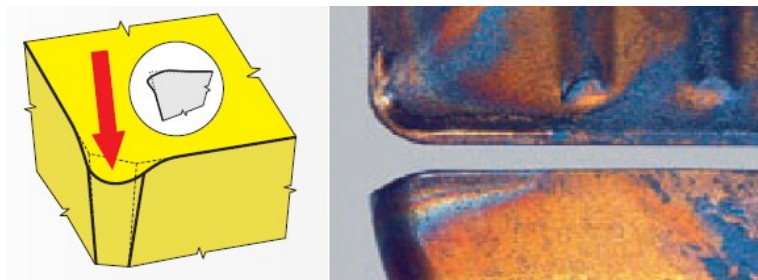
Obr. 1. 10 Tvorba nárustků¹⁰

Opotřebení hřbetu patří mezi hlavní kritéria, které ovlivňují trvanlivost VBD. Vzniká při abrazivním opotřebení. Při obrábění v momentě, kdy se nástroj setkává s obrobkem – obr. 1.11. Jsou to plochy pod hlavním ostřím, které jsou opotřebovávány. Dále se opotřebovává i špička s vedlejším ostřím, ale ne v takové míře jako plochy pod hlavním ostřím. Tento jev nelze odstranit, můžeme ho pouze snížit. A to tak, že použijeme otěru vzdornější typ slinutého karbidu, snížíme řeznou rychlost, zvýšíme posuv nebo použijeme chladicí kapalinu s velkou intenzitou chlazení.^{10,11}



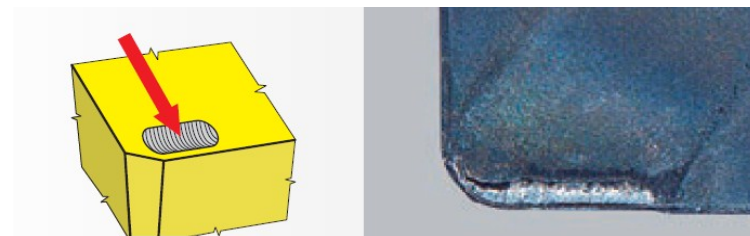
Obr. 1.11 Opotřebení hřbetu¹⁰

Plastická deformace špičky vzniká za vysokých teplot a vysokých rychlostí, kdy je hřbet nástroje značně přetížen. Po dosažení kritické teploty, se břit stává měkký a výrazně klesne jeho tvrdost. Břit, začne být plastický, což vede k vytlačení materiálu a poději ke změně geometrie – obr. 1.12. Aby, nám nevznikali tyto deformace, můžeme použít jiné otěru vzdornější materiály. Nebo lze snížit rychlost a posuv, použít VBD s větším úhlem špičky nebo s větším poloměrem zaoblení.^{10,11}

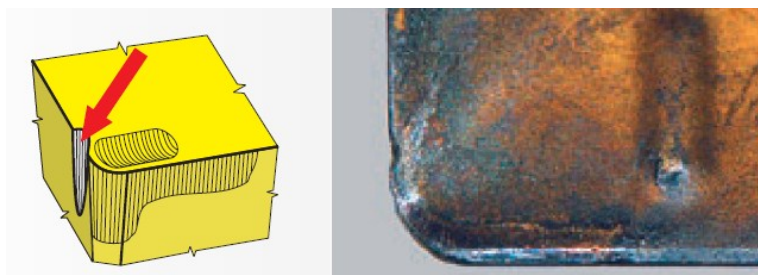
Obr. 1.12 Plastická deformace špičky¹⁰

1.5.2 Výmol na čele a oxidační rýha

Výmol na čele se nejvíce projevuje na VBD s rovným čelem. Na vzniku tohoto opotřebení se podílí abrazivní a difúzní mechanismus. Výmol vzniká v kontaktním místě mezi odcházející třískou a čelem břitu – obr. 1.13. Vyskytuje se na všech typech destiček, ale ne v takové míře. Výmol má tvar podle toho, jaký materiál obrábíme. Když obrábíme tvrdé materiály tak je výmol úzký a hluboký a u měkkých materiálů je to naopak. Proto, abychom zabránili výmolům, používáme otěruvzdorné VBD destičky, snížíme řeznou rychlost nebo použijeme jiný typ řezné geometrie.^{10,11}

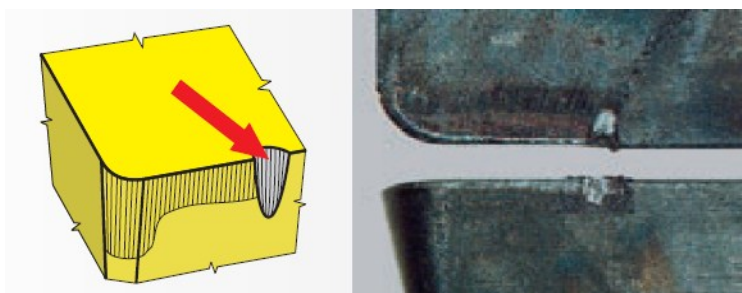
Obr. 1.13 Výmol na čele¹⁰

Oxidační rýha na vedlejším hřbetu se řadí mezi nejvýznamnější kritéria, která nám ovlivňují životnost VBD. Patří mezi typicky oxidační opotřebení. Vzniká spíše u soustružení. V momentě, kdy se spojí oxidační rýhy s výmolem, dojde ke zhoršení kvality povrchu – obr. 1.14. To znamená, že na povrchu budou jemné drážky. Proto, aby nám nevznikaly tyto rýhy, musíme použít otěruvzdorný slinutý karbid nebo snížit řeznou rychlost popřípadě použít chladicí kapalinu s velkou intenzitou chlazení.^{10,11}

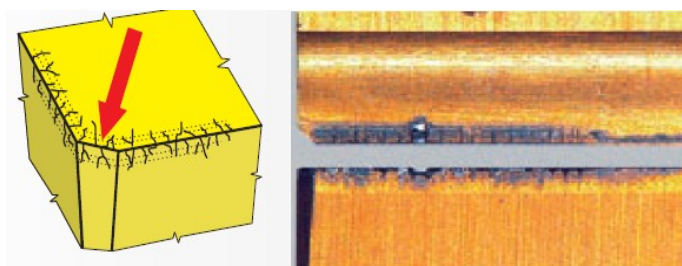
Obr. 1.14 Oxidační rýha na vedlejším hřbetu¹⁰

1.5.3 Vrubové opotřebení na hlavním břitu a hřebenové trhliny

Vrubové opotřebení na hlavním břitu vzniká v místě dotyku nástroje a obrobku – obr. 1.15. Příčina tohoto opotřebení je zpevnění povrchových vrstev obrobku. Tyto opotřebení se nevyskytují u všech ocelí, výskyt je jen u korozivzdorných ocelí. Abychom předešli tomuto opotřebení, měli bychom použít otěruvzdorný slinutý karbid nebo použít nástroj s menším úhlem nastavení. Mezi krajní případy patří nerovnoměrné rozdělení třísky.^{10,11}

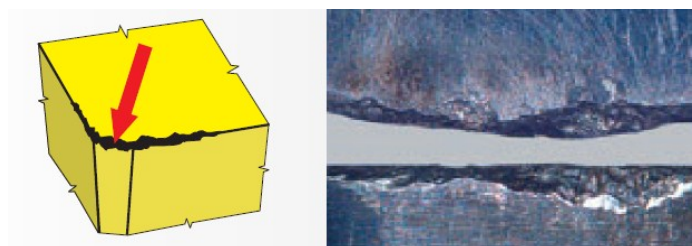
Obr. 1.15 Vrubové opotřebení na hlavním břitu¹⁰

Hřebenové trhliny vznikají kvůli dynamickému zatížení při přerušovaném řezu. Opotřebení vzniká při nadměrných teplotních změnách. Toto je způsob opotřebení typický pro frézování. Trhliny vznikají v kolmém směru proti ostří – obr. 1.16. Jakmile dojde na tyto trhliny je jen otázkou času, kdy se břit úplně zničí. K zabránění trhlín je potřeba dodržovat několik zásad a to, zvolit houževnatější VBD, snížit řeznou rychlost nebo používat vzduchové chlazení.^{10,11}

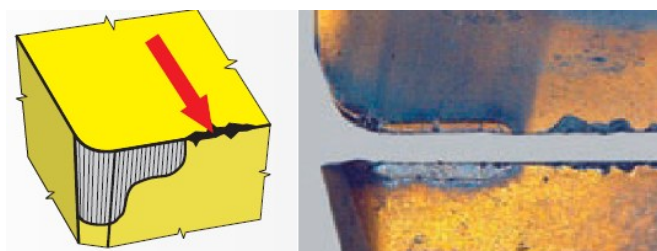
Obr. 1.16 Hřebenové trhliny¹⁰

1.5.4 Křehké porušování řezné hrany a porušování řezné hrany

Křehké porušování řezné hrany příčinou tohoto typu bývá špatná tuhost soustavy. Hlavní ostří se nám místo rovnoměrného opotřebení vyštipuje – obr. 1.17. Tato deformace se nikdy nevyskytuje samostatně. Další případ může nastat, když se nám začne odlupovat ostří mimo záběr řezné hrany. V takovém případě nám tříska špatně odchází z materiálu. Tato deformace se velmi těžko identifikuje, proto se někdy stane, že je na nástroji a my o ni ani nevíme. Ale když už tam je a chceme se jí zbavit tak změníme posuv nebo změníme typ nástroje či rozpětí řezné geometrie.^{10,11}

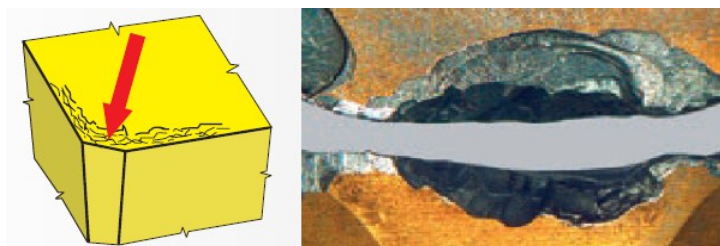
Obr. 1.17 Křehké porušování řezné hrany¹⁰

Porušování řezné hrany vzniká nevhodným utvářením třísky. Tato tříska při odvodu naráží na břit a tím jej poškozuje – obr. 1.18. Předjdeme tomu tak, že změníme posuv, zvolíme nástroj s jiným úhlem nastavení nebo použijeme houževnatější slinutý karbid.^{10,11}

Obr. 1.18 Porušování řezné hrany¹⁰

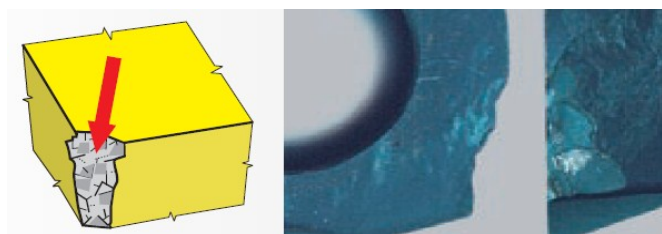
1. 5. 5 Únavové trhliny kolem hřbetu a destrukce břitu

Únavové trhliny kolem hřbetu se tvoří kvůli dynamickému zatížení těsně za břitem – obr. 1.19. Předcházet jim můžeme tak, že použijeme houževnatější slinutý karbid, změníme způsob najíždění a vyjíždění nástroje. Změníme posuv nebo použijeme jinou řeznou geometrii.^{10,11}



Obr. 1.19 Únavové trhliny podél hřbetu¹⁰

Destrukce břitu toto opotřebení závisí na tuhosti soustavy. Ale může záviset i na spoustě jiných věcí. Není zde pevně dáno, na čem závisí. Při destrukci břitu musíme okamžitě zastavit stroj. Protože nám může napáchat škody ne jenom na obrobku, ale i na stroji. Ve chvíli kdy se stane, že se břit vylomí, musíme analyzovat všechna data, co máme k dispozici, abychom určili příčinu – obr 1.20. Můžeme přijmout určité opatření, aby destrukce nemohla nastat. Důležité je používat houževnatější slinuté karbidy, zmenšit posuv při najíždění do obrobku a použít VBD s větším úhlem špičky a s větším zaoblením.^{10,11}



Obr. 1.20 Destrukce břitu¹⁰

1.6 Trvanlivost nástroje

Trvanlivost je součet všech časů řezání materiálu od začátku obrábění až po opotřebení bříty. Toto opotřebení má předem stanovené hodnoty. Hodnoty se nastavují podle toho, jakou máme trvanlivost, kvalitu povrchu a jaký má obrobek tvar. Trvanlivost závisí na velkém počtu věcí. Mezi tyto věci, na které se klade největší důraz, je metoda obrábění. Metodou obrábění se rozumí, jestli budeme soustružit, frézovat nebo jinak obrábět. Další důležitou věcí, na které záleží, jsou vlastnosti obráběného materiálu a řezné podmínky. Do řezných podmínek je zahrnuta řezná rychlost, posuvová rychlost, šířka záběru ostří a řezné prostředí.^{9,16}

Na začátku 20. století zjistil Frederick Winslow Taylor, že ze všech řezných podmínek je právě řezná rychlost tou zásadní. Tato řezná rychlost nám výrazně mění trvanlivost nástroje. Taylor díky tomu dokázal odvodit závislost řezných podmínek na trvanlivost. Tento vztah byl základem pro výpočet trvanlivosti. Později na tomto vztahu byly založeny normy pro zjištění trvanlivosti ČSN ISO 8688-1 a ČSN ISO 8688-2. Tento vztah je lidově nazýván Taylorův vztah.^{9,16}

$$T = \frac{Ct}{v_c^m} [\text{min}]^{16}$$

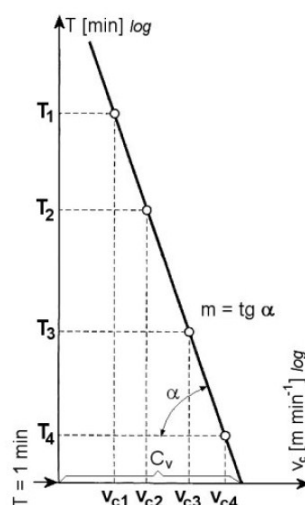
Exponent m , udává vlastnosti nástroje, pro každý material nabývá jiných hodnot.

Řezná keramika $m=1,2-2,5$

Rychlořezná ocel $m=3-8$

Nástrojová ocel $m=6-10$

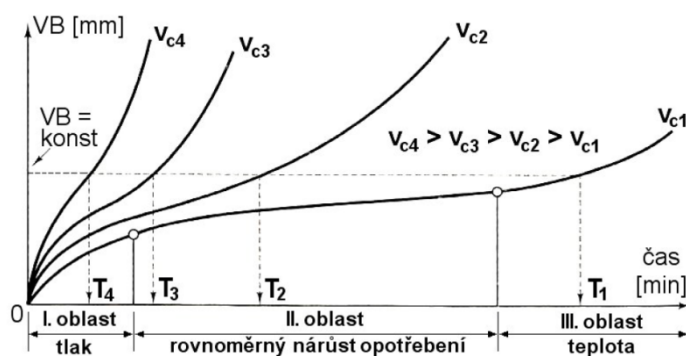
Slinutý karbid $m=2-5$ ¹⁶



Obr. 1.21 Závislost $T-v_c$ ¹⁶

Stanovení $T - vc$ vychází z kombinace řezný nástroj obráběný materiál – obr. 1.21. Tato definice vychází z trvanlivosti. Při podmínce, že jsou ostatní řezné parametry konstantní. Daný materiál je obráběn minimálně čtyřmi různými rychlostmi. Při tomto obrábění sledujeme nárůst opotřebení nástroje. Toto opotřebení se vynáší do grafu opotřebení. Aby, se nám jednotlivé body rovnoměrně rozprostřely, využíváme rychlostní řadu R20 podle ČSN ISO 3685 pro destičky ze slinutých karbidů. Když obrábíme při nejvyšší řezné rychlosti, neměla by trvanlivost klesnout pod 5 minut. Když, obrábíme drahé kovy, můžeme mít trvanlivost i nižší, ale neměla by klesnout pod hranici 2 minut.^{9,16}

Když máme předem stanovenou hodnotu VB můžeme z časových křivek odečíst jednotlivé trvanlivosti T_1, T_2, T_3 a T_4 . Tyto trvanlivosti odpovídají zvoleným rychlostem vc_1, vc_2, vc_3 a vc_4 . Tyto body jsou pak vyneseny do diagramu a spojí se mezi sebou T_1 s vc_1 atd. Takto spojené souřadnice nám vytvoří přímku. Tato přímka odpovídá hodnotě VB . Hodnotu C_t můžeme odečíst z osy T a hodnotu C_v na ose vc . Tyto vztahy však mají jednu velkou nevýhodu, šířka záběru musí být konstantní, to samé platí i pro posuv a opotřebení – obr. 1.22.^{9,16}



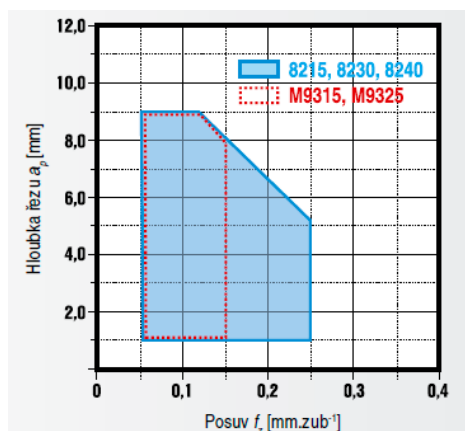
Obr. 1.22 Graf opotřebení¹⁶

2 FRÉZOVÁNÍ OCELÍ

2.1 VBD LNGX 120508ER-M

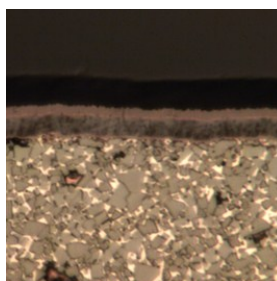
Vyměnitelné břitové destičky LNGX 120508ER-M jsou destičky se čtyřmi řeznými hranami. Patří do nové řady fréz s úhlem nastavení 90° pro ekonomické frézování. Vyměnitelná břitová destička LNGX 120508ER-M je zhotovená z materiálu M9325. Tento materiál obsahuje vyšší množství kobaltu a to zhruba 10,2% Co a dále 1,5 % TaNb. Hustota tohoto substrátu je $14,5 \text{ g. cm}^3$. Tyto destičky mají velice pozitivní geometrii. Jsou

vhodné pro obrábění materiálů skupiny P, M a S, dále potom pro lehké a střední obrábění. Jsou vhodné pro střední a velké rychlosti a mají vysokou houževnatost a provozní spolehlivost – obr. 2.1. Největší výhodu mají v tom, že mají dobrou odolnost proti opotřebení.^{13,15}



Obr. 2.1 Funkční diagram¹³

Povlak použitý na M9325 je tenký MT-CVD povlak opatřený unikátní vrstvou Al_2O_3 . V povlaku jsou použity Ti (C, N) a Al_2O_3 . Titan má tloušťku 3-5 μm a složka Al_2O_3 má tloušťku 2,5-3,5 μm . Celková vrstva povlaku se pohybuje kolem 6-8 mikrometrů. Vrstva Al_2O_3 dodává dobrou otěruvzdornost a tepelnou odolnost – obr. 2.2.^{13,15}



Obr. 2.2 M9325¹³

2.2 Stroj, nástroj a řezné podmínky

Frézování probíhalo ve zkušební laboratoři firmy Pramet Tool s.r.o. Na tuto operaci, byl použit stroj firmy Goos s.r.o. Kuřim. Jednalo se o typ stroje FCV 63 SCA – obr. 2.3 spolu s řídicím systémem Heidenhain TNC 310.



Obr. 2.3 Obráběcí centrum FCV 63 SCA

Při frézování, jsme nastavili řezné podmínky- obr. 2.5 pohybující se na horní hranici doporučených hodnot- obr. 2.4 pro VBD LNGX 120508ER-M.

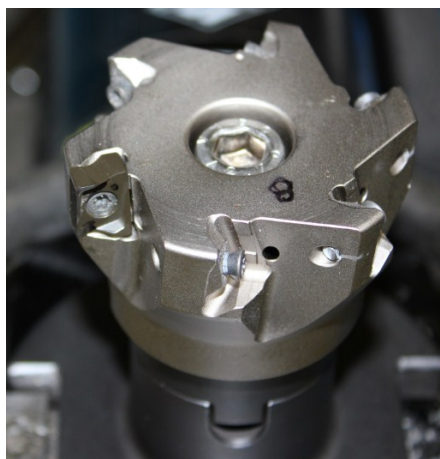
LNGX 120508ER-M M9325												
PRAMET	P		M		K		N		S		H	
v [m/min]	395	205	235	120	0	0	0	0	115	40	0	0
f [mm/tooth]	0,05	0,25	0,05	0,19	0	0	0	0	0,05	0,15	0	0
a [mm]	1	9	1	6,8	0	0	0	0	1	5,4	0	0

Obr. 2.4 Doporučené řezné podmínky¹³

Řezné podmínky	Řezná rychlost [m/min]	V_c	340 m/min
	Otáčky [ot/min]	n	1 718 ot/min
	Posuv [mm/ot]	f_{ot}	
	Posuv [mm/zub]	f_{zub}	0,15 mm/zub
	Posuv [mm/min]	f_{min}	258 mm/min
	Hloubka řezu [mm]	a_p	2,50 mm
	Šířka fréz. plochy [mm]	a_e	50,00 mm
	Stoupání závitu [mm]	t	

Obr. 2.5 Zvolené řezné podmínky

Jako nástroj jsme volili frézu 63A06R-S90LN12-C – obr. 2.6. Abychom zajistili maximální přesnost výsledků, byla fréza osazena jen jednou VBD. Na jedno zaoblení jsme měli vždy dva testovací vzorky. Porovnáním těchto dvou vzorků si ověříme správnost testování.



Obr. 2.6 Fréza 63A06R-S90LN12-C

2.3 Ocel 12 050.9

Na naše zkoušky jsme použili ocel 12 050.9. Jedná se o ocel určenou k zušlechťování. Tato ocel má obsah uhlíku 0,5%, což ji po zušlechtění zaručuje tvrdost 198 HB. Tuto ocel si nechává vyrábět firma Pramet Tools speciálně na testování. Je to ocel nejvyšší jakosti bez jakýchkoliv nečistot. Na testování byl použit ocelový hranol o rozměrech 800x50 mm – obr. 2.7. Cena takového hranolu se pohybuje kolem 20 tisíc korun. Před začátkem testů se musí hranol ofrézovat ze všech stran, protože na povrchu mohou zůstat nečistoty z výroby. Kdybychom neprovedli tuto operaci tak by pozdější výsledky testů byly neprůkazné.¹²



Obr. 2.7 Frézování oceli

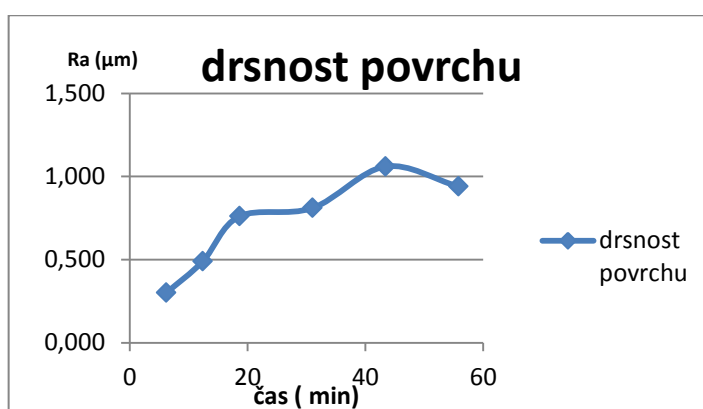
2.4 Drsnost povrchu při zaoblení 30 μm

Drsnost zaoblení se měřila pomocí drsnoměrů. Měřili jsme drsnost v R_a . Tato drsnost byla měřena dvakrát na dvou vzorcích z důvodu ověření výsledků.

Vzorek A6

Tab. 2.1 Drsnost povrchu vzorek A6

Čas[min]	6,2	12,4	18,6	31	43,4	55,8
Drsnost[μm]	0,300	0,490	0,760	0,810	1,060	0,940

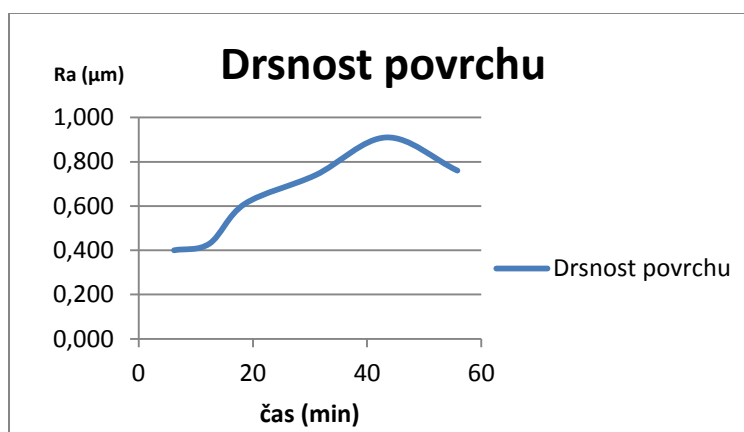


Graf 2.8 Vzorek A6

Vzorek A7

Tab. 2.2 Drsnost povrchu vzorek A7

čas[min]	6,2	12,4	18,6	31	43,4	55,8
drsnost[μm]	0,400	0,430	0,610	0,740	0,910	0,760



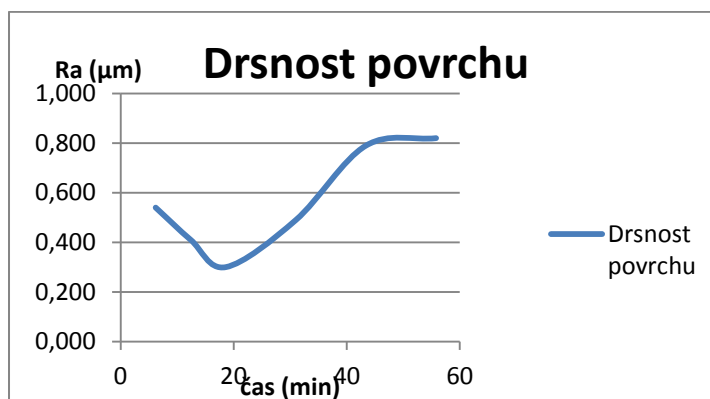
Graf 2.9 Vzorek A7

2.5 Drsnost povrchu při zaoblení 50 μm

Vzorek B3

Tab. 2.3 Drsnost povrchu vzorek B3

čas[min]	6,2	12,4	18,6	31	43,4	55,8
drsnost[μm]	0,540	0,410	0,300	0,490	0,790	0,820

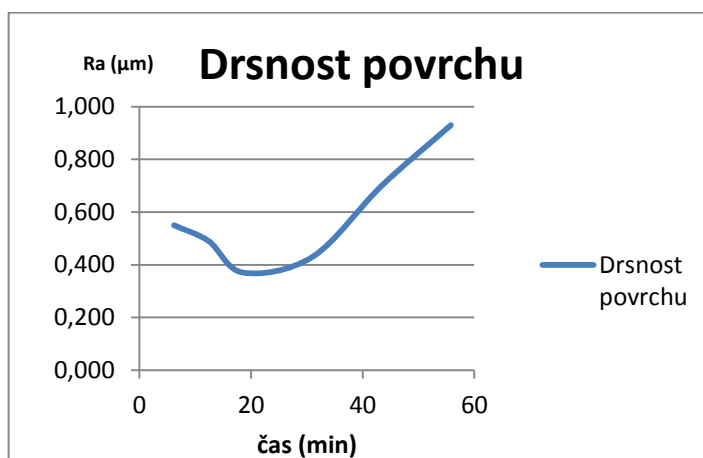


Graf 2.10 Vzorek B3

Vzorek B7

Tab. 2.4 Drsnost povrchu vzorek B7

čas[min]	6,2	12,4	18,6	31	43,4	55,8
drsnost[μm]	0,550	0,490	0,370	0,430	0,700	0,930



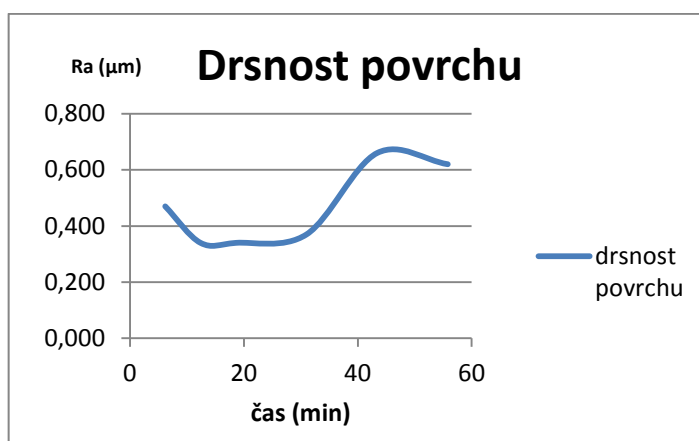
Graf 2.11 Vzorek B7

2.6 Drsnost povrchu při zaoblení 70 μm

Vzorek C0

Tab. 2.5 Drsnost povrchu vzorek C0

čas[min]	6,2	12,4	18,6	31	43,4	55,8
drsnost[μm]	0,470	0,340	0,340	0,370	0,660	0,620

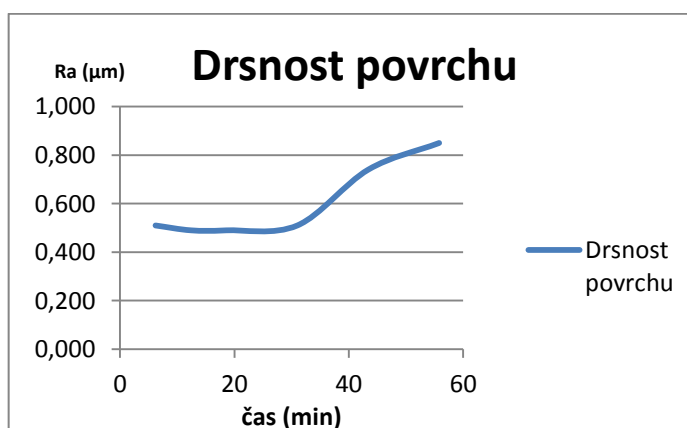


Graf 2.12 Vzorek C0

Vzorek C2

Tab. 2.6 Drsnost povrchu vzorek C2

čas[min]	6,2	12,4	18,6	31	43,4	55,8
drsnost[μm]	0,510	0,490	0,490	0,510	0,740	0,850



Graf 2.13 Vzorek C2

3 VLIV ZAOBLENÍ ŘEZNÉ HRANY NA VÝSLEDNÉ PARAMETRY OBRÁBĚNÍ

3.1 Stroje

Proto, abychom mohli stanovit vliv velikosti zaoblení na trvanlivost, potřebujeme znát hodnoty zaoblení na řezné hraně. Tyto hodnoty zaoblení můžeme získat tak, že si je změříme opticky pomocí mikroskopu nebo použijeme mechanickou metodu. V našem případě jsme použili mechanickou metodu. Jako měřidlo jsme použili Mahr Marsurf XC20 – obr. 3.1. Měřidlo má jeden dotykový hrot. Tento hrot nám přejede přes řeznou hranu a na PC se zobrazí hodnota zaoblení této hrany. Přístroj, má odchylku pouze 1 μm z toho vyplývá, že měření je velmi přesné.¹⁴



Obr. 3.1 Marsurf¹⁴

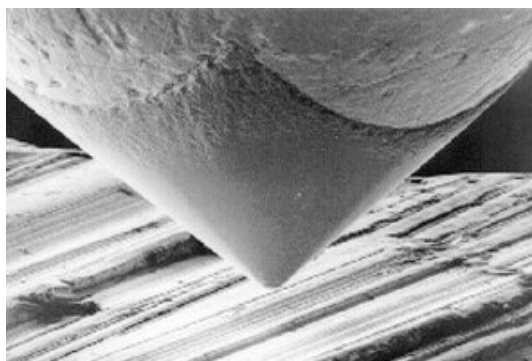
Pro měření opotřebení jsme použili dílenský mikroskop s elektronickým odměřováním souřadnic – obr. 3.2. Tento mikroskop má přesnost 0,01 mm.



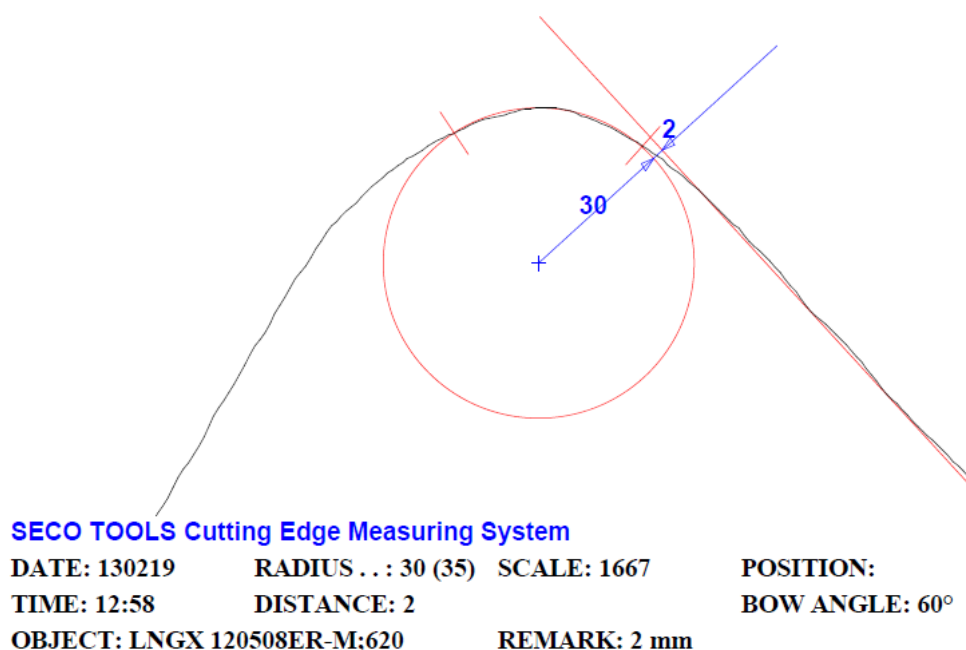
Obr. 3.2 Dílenský mikroskop

3.2 Měření zaoblení

Zaoblení jsem měřil na mechanickém měřidle Marsurf. Vždy se měřilo tak, že dotykový hrot přejel řeznou hranu – obr. 3.3. Zaoblení jsem měřil před povlakováním i po povlakování. Měřil jsem zaoblení 2 mm od hrany a v polovině destičky – obr. 3.4. Přišel jsem na to, že zaoblení, které se měří 2mm od hrany má jiné hodnoty než zaoblení uprostřed destičky.



Obr. 3.3 Hrot přejíždějící řeznou hranu



Obr. 3.4 Zaoblení řezné hrany

Pro měření jsem měl k dispozici 20 vzorků z každého zaoblení. Vzhledem k tomu, že měření je časově náročné rozhodl jsem se změřit 10 vzorků z každého zaoblení jak 2mm od hrany tak uprostřed destičky. Z hodnot jsem si vybral 3 vzorky z každého zaoblení po

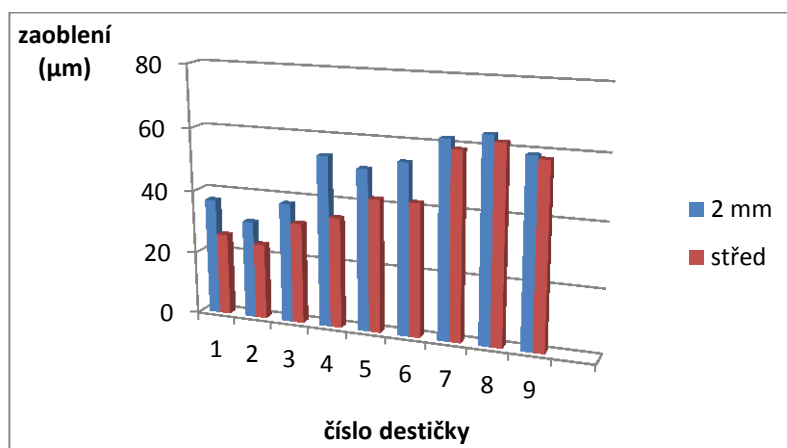
povlakování. Hodnoty jsem zaznamenal do tabulky a udělal grafy závislostí, jak se mění zaoblení řezné hrany směrem k polovině destičky.

Tab. 3.1 Zaoblení 2mm

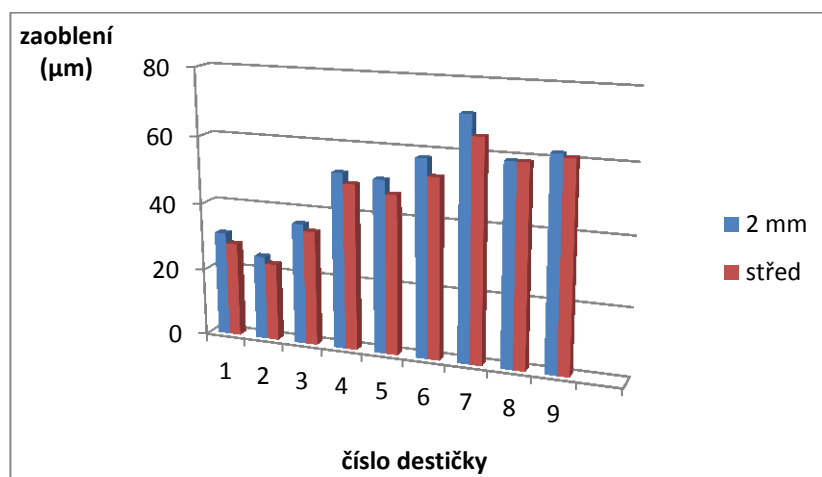
Číslo destičky	označení	plánované zaoblení	řezná hrana 1	řezná hrana 2	řezná hrana 3	řezná hrana 4
2mm	(-)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)
1	A1	20	37	31	36	39
2	A2	20	31	25	38	39
3	A3	20	38	36	34	31
4	B3	40	54	52	53	51
5	B4	40	51	51	56	48
6	B5	40	54	58	45	55
7	C3	60	62	71	70	62
8	C4	60	64	59	65	65
9	C5	60	59	62	73	75

Tab. 3.2 Zaoblení střed destičky

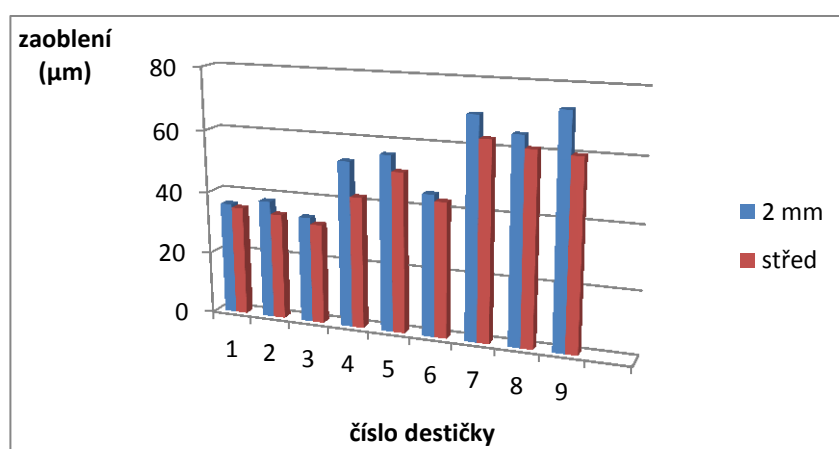
Číslo destičky	označení	plánované zaoblení	řezná hrana 1	řezná hrana 2	řezná hrana 3	řezná hrana 4
polovina	(-)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)
1	A1	20	26	28	35	35
2	A2	20	24	23	34	37
3	A3	20	32	34	32	26
4	B3	40	35	49	42	51
5	B4	40	42	47	51	48
6	B5	40	42	53	43	48
7	C3	60	59	65	63	53
8	C4	60	62	59	61	61
9	C5	60	58	61	60	65



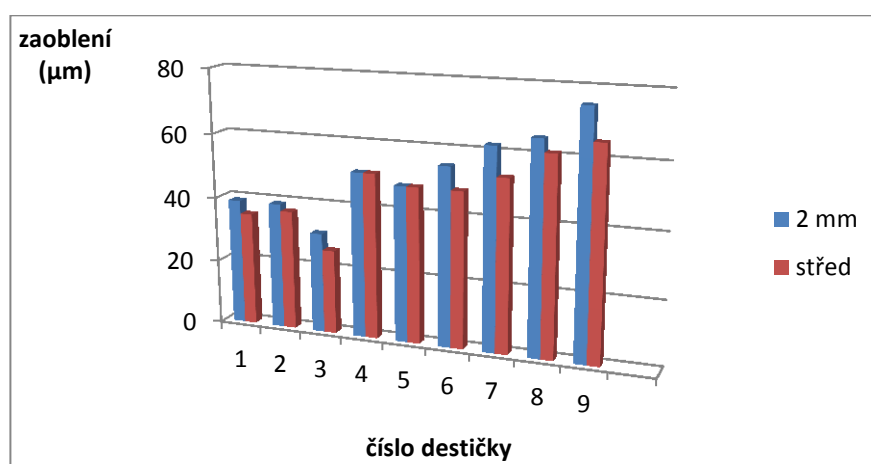
Graf 3.5 Zaoblení řezná hrana 1



Graf 3.6 Zaoblení řezná hrana 2



Graf 3.11 Zaoblení řezné hrany 3



Graf 3.7 Zaoblení řezné hrany 4

Z diagramů vyplývá, že zaoblení řezné hrany není stejné po celé její délce. Skoro vždy se mění. Na kraji destičky je většinou větší zaoblení, ale čím více se přibližujeme polovině destičky tak tím je zaoblení menší. Tyto nepřesnosti vznikají především výrobou. Nicméně důležitá je pro nás hodnota 2 mm od hrany destičky, v této vzdálenosti by mělo mít

zaoblení požadovanou hodnotu. V této hloubce řezu ap je předpoklad nejčastějšího použití. Zaoblení směrem k ose destičky je menší a je způsobeno použitou technologií výroby. Velikost zaoblení se volí podle typu a velikosti destičky a dle předpokládané oblasti použití (dokončování, střední obrábění, hrubování). Vždy tam, ale nějaké zaoblení musí být, kdyby tam nebylo tak by se nám rapidně snížila životnost. Při zajetí destičky s ostrou hranou do materiálu může dojít k vylomení řezné hrany.

3.3 Opotřebení

I přesto, že jsme se pohybovali při volbě řezných podmínek v hraničních hodnotách – obr. 3.8 nebylo možné testování dokončit. A to především z časových, ekonomických a technických důvodů. Proto při hodnocení výsledků vycházím z údajů, které mám k dispozici. Testování bylo ukončeno hlavně z časových důvodů, protože trvanlivost destiček se dostala vysoko nad hranici doporučených hodnot trvanlivostí.

Řezné podmínky	Řezná rychlost [m/min]	V_c	340 m/min
	Otáčky [ot/min]	n	1 718 ot/min
	Posuv [mm/ot]	f_{ot}	
	Posuv [mm/zub]	f_{zub}	0,15 mm/zub
	Posuv [mm/min]	f_{min}	258 mm/min
	Hloubka řezu [mm]	a_p	2,50 mm
	Šířka fréz. plochy [mm]	a_e	50,00 mm
	Stoupání závitu [mm]	t	

Obr. 3.8 Řezné podmínky

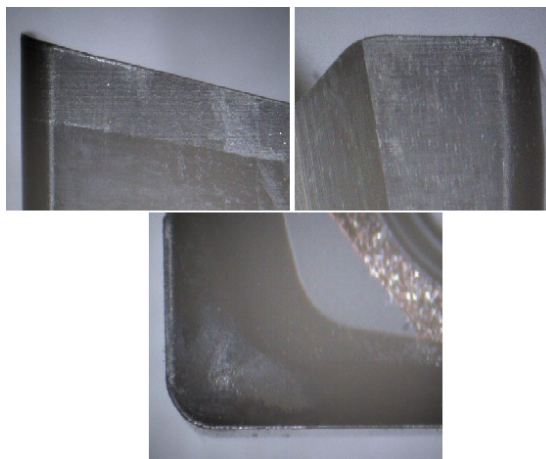
3.3.1 Opotřebení při zaoblení 30 μm

Pro vyhodnocení opotřebení při zaoblení 30 μm , jsem se rozhodl použít naměřené hodnoty z destičky A6.

Tab. 3.3 Opotřebení při zaoblení 30 μm

Vzorek A6			Čas obrábění						Výsledné opotřebení
			6,2	12,4	18,6	31	43,4	55,8	
			[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	
Opotřebení	vb	[mm]	0,092	0,107	0,120	0,137	0,146	0,154	0,154
	vbc	[mm]	0,057	0,063	0,076	0,086	0,094	0,097	0,097
	vb2	[mm]	0,062	0,070	0,083	0,092	0,096	0,099	0,099

Opotřebení při zaoblení 30 μm po čase 6,2 minut na vzorku A6 není skoro žádné – obr. 3.9. Na hlavním ani na vedlejší břitě nelze zpozorovat žádné opotřebení to stejné platí i pro čelo.



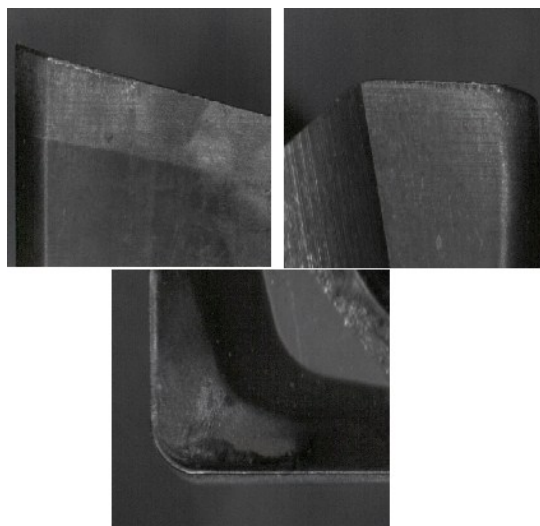
Obr. 3.9 Opotřebení po 6,2 min

Opotřebení po 31 minutách začíná být vidět mírné opotřebení – obr. 3.10. Začátek vzniku trhlin na hlavním břitě. Vedlejší břit a čelo skoro beze změn.

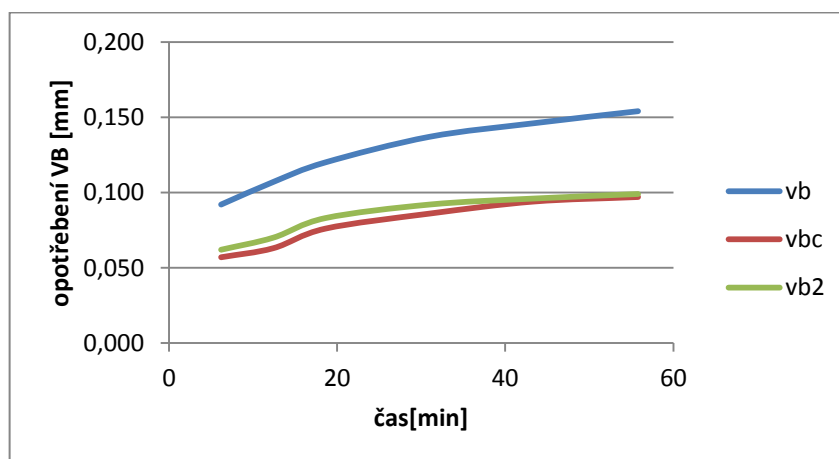


Obr. 3.10 Opotřebení po 31 minutách

Opotřebení po 55,8 minutách. Na řezné hraně se rozrůstá opotřebení - Obr. 3.11. Vedlejší břit skoro beze změny. Na čele se začínají vytvářet výmoly.



Obr. 3.11 Opotřebení po 55,8 minutách



Graf 3.12 Průběh opotřebení na vzorku A6

Z grafu – graf 3.12 lze vyčíst, že při zaoblení řezné hrany $30\ \mu\text{m}$ je největší opotřebení právě na hlavním ostří. Naopak nejméně se nám projevuje opotřebení na čele destičky. Všechny opotřebení narůstají pomalu konstantně.

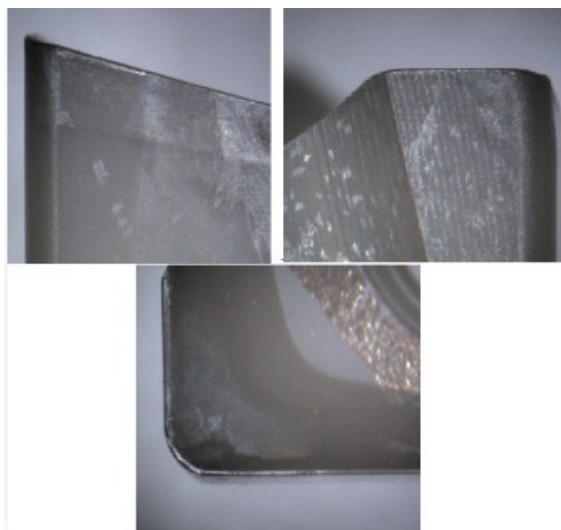
3.3.2 Opotřebení při zaoblení $50\ \mu\text{m}$

Pro vyhodnocení opotřebení při zaoblení $50\ \mu\text{m}$, jsem se rozhodl použít naměřené hodnoty z destičky B3.

Tab. 3.4 Opotřebení při zaoblení 50 μm

Vzorek B3			Čas obrábění						Výsledné opotřebení
			6,2	12,4	18,6	31	43,4	55,8	
			[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[mm]
Opotřebení	vb	[mm]	0,096	0,135	0,141	0,154	0,161	0,167	0,167
	vbc	[mm]	0,063	0,078	0,085	0,092	0,095	0,099	0,099
	vb2	[mm]	0,067	0,088	0,093	0,097	0,099	0,103	0,103

Po 6,2 minutách na řezné hraně začíná být vidět opotřebení – obr. 3.13. Na čele a na vedlejším hřbetu není vidět žádné opotřebení.



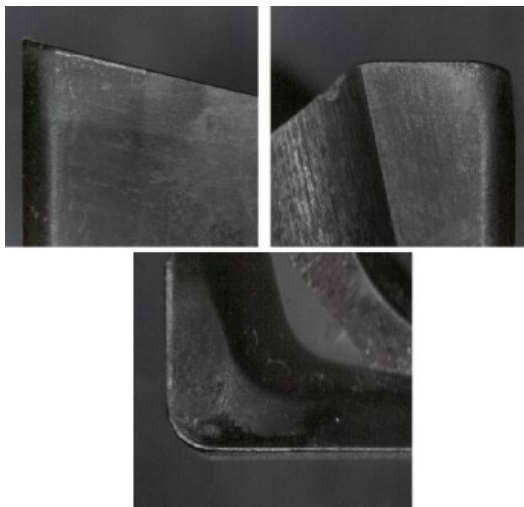
Obr. 3.13 Opotřebení po 6,2 minutách

Po 31 minutách na řezné hraně se rozrůstá opotřebení – obr. 3.14. Na čele se začíná tvořit výmol. Na vedlejším břitu se začíná tvořit oxidační rýha.

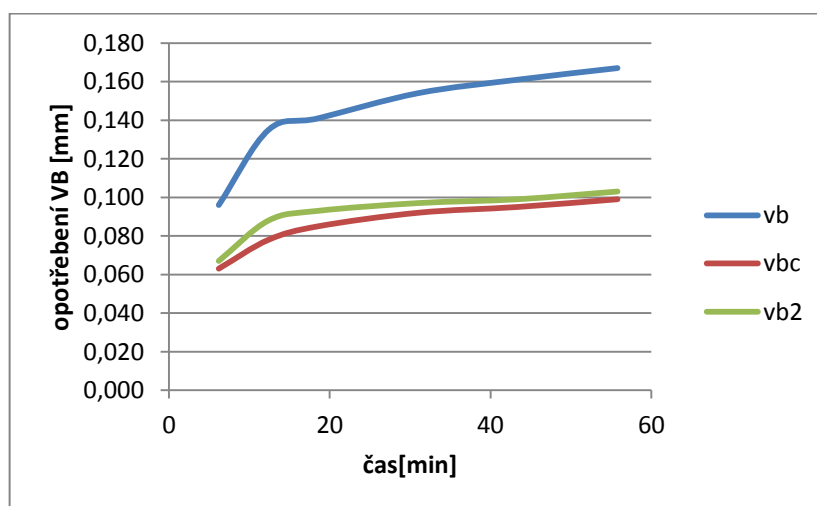


Obr. 3.14 Opotřebení po 31 minutách

Po 55,8 minutách se na řezné hraně začínají tvořit hřebenové trhlinky – obr. 3.15. Na čele se zvětšuje výmol. Na vedlejším břitu pokračuje tvorba oxidační rýhy.



Obr. 3.15 Opotřebení po 55,8 minutách



Graf 3.16 Průběh opotřebení na vzorku B3

Z grafu – graf 3.16, lze vyčíst, že nejmenší je opotřebení na čele. Ale oproti zaoblení řezné hrany 30 μm začíná být větší rozdíl mezi opotřebením vedlejšího břitu a čela. Opotřebení na vedlejším hřbetu a na čele narůstá pomalu a konstantně, ale na řezné hraně zpočátku narůstá strmě a až po té konstantně.

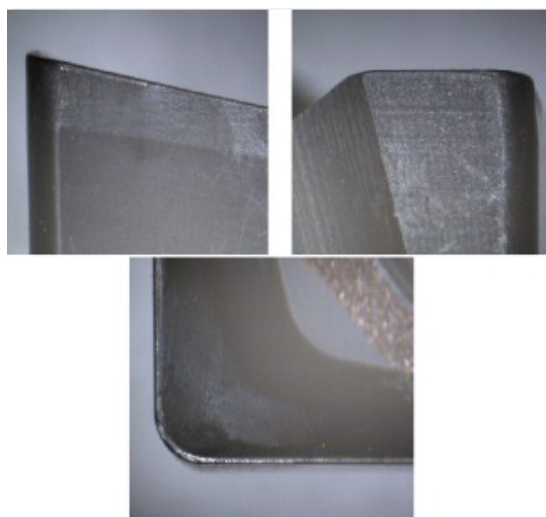
3.3.3 Opotřebení při zaoblení 70 μm

Pro vyhodnocení opotřebení při zaoblení 70 μm , jsem se rozhodl použít naměřené hodnoty z destičky C0.

Tab. 3.5 Opotřebení při zaoblení 70 μm

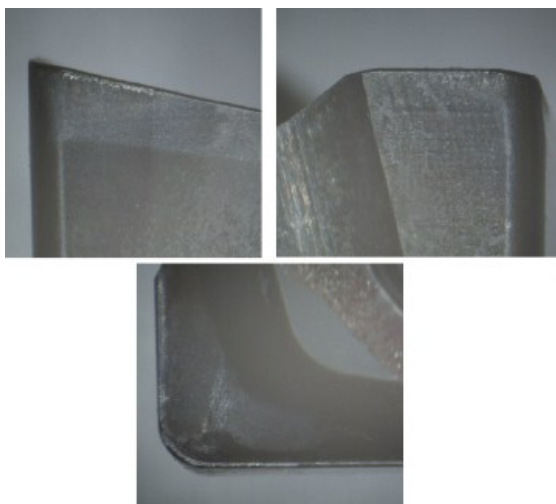
Vzorek C0			Čas obrábění						Výsledné opotřebení
			6,2	12,4	18,6	31	43,4	55,8	
			[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	
Opotřebení	vb	[mm]	0,089	0,138	0,144	0,159	0,166	0,172	0,172
	vbc	[mm]	0,059	0,073	0,080	0,087	0,090	0,094	0,094
	vb2	[mm]	0,064	0,082	0,094	0,096	0,098	0,101	0,101

Po 6,2 minutách není vidět žádné opotřebení – obr. 3.17. Jen na řezné hraně je zárodek menšího opotřebení.



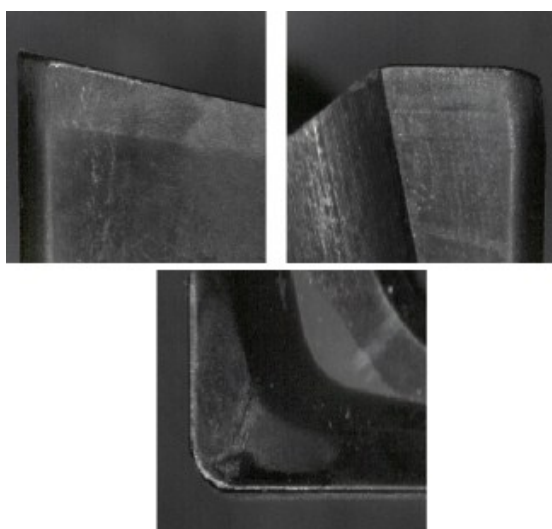
Obr. 3.17 Opotřebení po 6,2 minutách

Po 31 minutách je vidět opotřebení na řezné hraně začátek vzniku hřebenových trhlinek – obr. 3.18. Na čele je zárodek výmolů. Na vedlejším břitu nejde rozpoznat nějaké opotřebení.

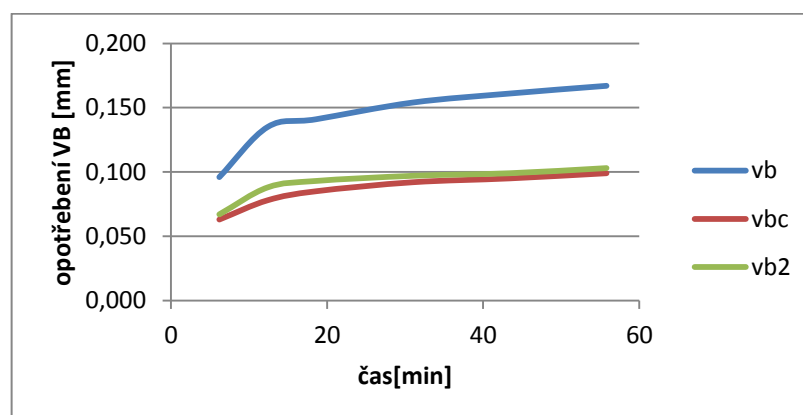


Obr. 3.18 Opotřebení po 31 minutách

Po 55,8 minutách dost velké zvětšení hřebenových trhlinek – obr. 3.19. Tyto trhlinky se začínají tvořit i na vedlejším břitu. Na čele se zvětšuje výmol.



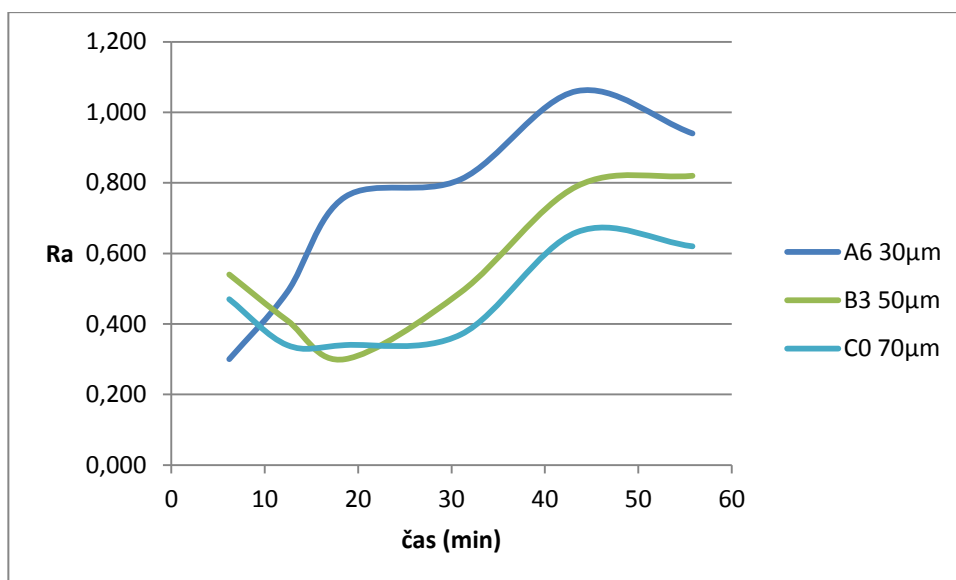
Obr. 3.19 Opotřebení po 55,8 minutách



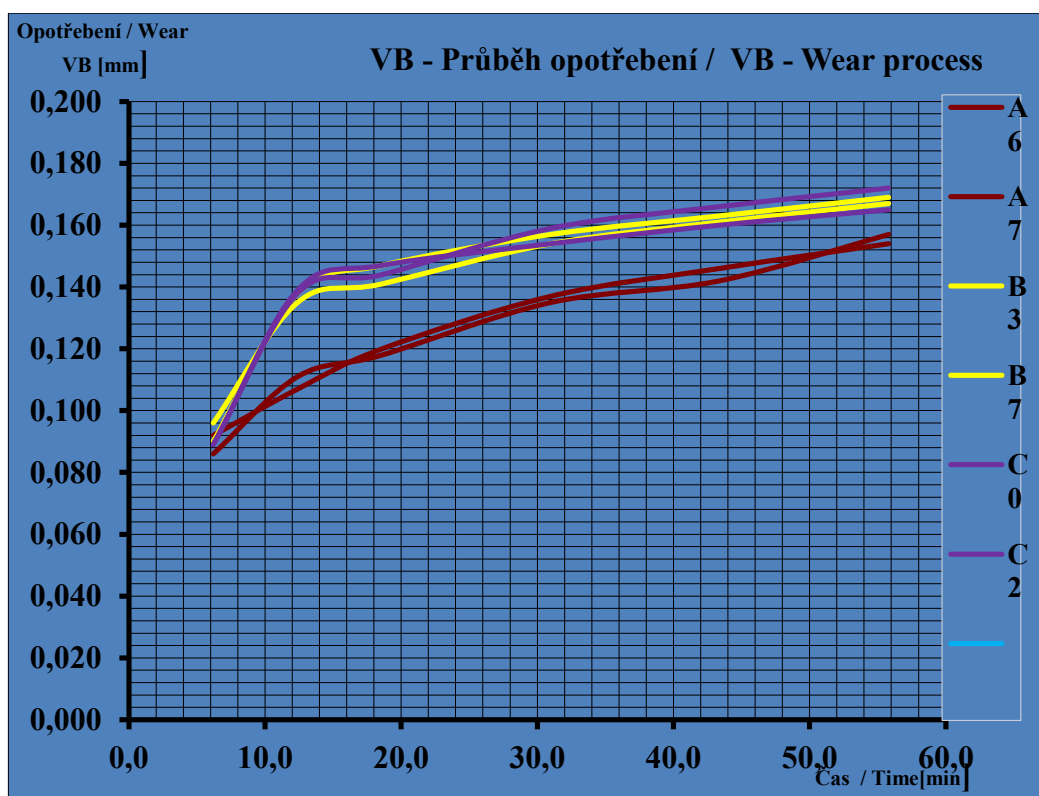
Graf 3.20 Průběh opotřebení na vzorku C0

Opět se zvětšilo opotřebení na čele a na vedlejším břitu – graf 3.20. Konstantní opotřebení je na vedlejším břitu a na čele. Na hlavním břitu narůstá opotřebení zpočátku strmě nahoru, později se ustálí a je konstantní.

4 DISKUZE EXPERIMENTŮ



Obr. 4.1 Porovnání drsností



Obr. 4.2 Průběh opotřebení

Po porovnání drsností – obr. 4.1 u všech zaoblení řezné hrany nejlepších hodnot dosahuje zaoblení 70 μm . Drsnost při tomto zaoblení, je pouze Ra 0,3 po dobu 30 minut což je drsnost která je většinou jen u dokončovacích operací jako je lapování nebo broušení. U běžného frézování je většinou drsnost kolem Ra 3,2. Při použití destiček LNGX 120508ER-M se zaoblením řezné hrany 70 μm nemusíme po frézování aplikovat žádné dokončovací operace.

Při porovnání opotřebení – obr. 4.2 má nejmenší opotřebení zaoblení 30 μm . I když nebyl test dokončen, z naměřených hodnot, co mám k dispozici, se dá usuzovat, že při zaoblení 30 μm bude trvanlivost VBD LNGX 120508ER-M největší. Jestliže destičky mají mít trvanlivost 30 – 45 minut a my po 60 minutách frézování nevidíme výrazné opotřebení, dá se přepokládat, že trvanlivost této destičky by mohla být až 80 minut. Což je skoro 2x větší trvanlivost než doporučená.

Jestliže, chceme destičku, po které budeme mít dobrou drsnost povrchu, a zároveň i trvanlivost musíme udělat kompromis a proto bych doporučil vyrábět destičky VBD LNGX 120508ER-M se zaoblením 50 μm .

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

I přesto, že nebyly testy dokončeny, dají se z dat, co mám k dispozici usuzovat zajímavé závěry. Protože, jsem jako nejvhodnější zvolil zaoblení 50 μm jako kompromis mezi kvalitou povrchu a trvanlivostí dospěl jsem k závěru, že jsem zvolil dobře i co se týká nákladů na výrobu. Výroba zaoblení pro 50 μm se provádí pomocí mokrého pískování a to je vůbec nejlevnější způsob výroby. Destičky VBD LNX 120508ER-M mohou při zaoblení 50 μm ušetřit na výrobě desítky tisíc ročně. Dále, co se týče obrábění při tomto zaoblení, je možné vynechat dokončovací operace, jako je broušení což ušetří asi 1/3 z celkových nákladů na výrobek. Tyto dokončovací operace lze vynechat i u zaoblení 70 μm avšak trvanlivost nám klesne. Budeme potřebovat daleko více destiček než u zaoblení 50 μm .

Závěr

Výroba slinutých karbidů se posouvá směrem vzhůru. Jak je vidět na destičkách LNGX, které jako první mají čtyři řezné hrany pro frézování. Nejedná se jen o řezné hrany, ale i o trvanlivost nástrojů. Při použití ultra jemných prášků s kombinací MT-CVD povlaků vznikají destičky s velmi vysokou trvanlivostí, která je už dnes dvojnásobná oproti doporučeným trvanlivostem.

Obrovský pokrok se udělal i v kvalitě povrchu. Kdy drsnosti kolem 0,5 Ra dělali pouze hladící destičky. Dnes destičky pouze na frézování ne na hlazení dokáží udělat povrch o drsnosti kolem 0,3 Ra. Což umožňuje výrazně snížit náklady na obrobek.

Poděkování

Tímto chci poděkovat doc. Ing. Vladimíru Vrbovi a Ing. Miroslavu Kouřilovi za cenné připomínky při psaní bakalářské práce. Dále chci poděkovat firmě Pramet Tools s. r. o. za možnost provedení testů a zároveň chci poděkovat i jejím zaměstnancům za to, že se mi věnovali. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodičům, že mě během studia neustále podporovali.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HUMÁR, A. [I]Materiály pro řezné nástroje.[/I] Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] MRKVICA, M. [i]Přípravky a obráběcí nástroje: I. díl, Řezné nástroje.[/i] Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2006. ISBN 80-7078-941-7.
- [3] Poloha frézy vůči obrobku. In: *Sandvik Coromant* [online]. 2010 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cscz/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/cutter_position/pages/default.aspx#4
- [4] Corporate Brochure. In: *Pramet Tools s.r.o* [online]. 2011 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: www.pramet.com/download.php?id=371
- [5] BRYCHTA, Josef. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [6] BILÍK, Oldřich. *Obrábění I*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Strojní fakulta, 2001-2002, 2 sv. ISBN 80-7078-811-91.
- [7] PRAMET TOOLS S.R.O. *Porovnání technologií pro zaoblení řezné hrany*. Šumperk, 2011.
- [8] HECKMANN, Hrsg. *Schneidkantenpräparation: Ziele, Verfahren und Messmethoden*. Kassel: Kassel Univ. Press, 2009. ISBN 978-389-9584-943.
- [9] HUMÁR, Anton *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. Brno, 2003.
- [10] PRAMET. *Frézování: katalog 2006*. PRAMET TOOLS, s. r. o., 2012. 318 s.
- [11] Sandvik Coromant. In: *Opotřebení břitů* [online]. 2010 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cscz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/wear_on_cutting_edges/pages/default.aspx
- [12] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie I*. 3., přeprac. vyd. Praha: Scientia, 2002, 266 s. ISBN 80-718-3262-6.
- [13] Pramet Tools. In: *LNGX12 a LNGUI6* [online]. 2012 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download.php?id=427>
- [14] Mahr. In: *MarsurfXC2* [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <http://www.mahr.cz/index.php?NodeID=2698>

[15] PRAMET TOOLS S.R.O. *NEW MILLING GRADES*. Šumperk, 2012.

[16] BRYCHTA Josef, ČEP Robert, NOVÁKOVÁ Jana, PETŘKOVSKÁ Lenka.
Technologie II – 1 díl

PŘÍLOHY

Příloha A – Protokol zkušebny o obrábění